

Artificial Bee Colony Aplicado a la Optimización Nutricional de Menús Escolares

Gerónimo, Verónica¹; Navarro, Carina²; Paz, Fabiola³;

Herrera Cagnetta, Analía⁴

Facultad Ingeniería

Universidad Nacional de Jujuy

geronimo_vero@hotmail.com¹; navarro.carinav@gmail.com²;

fabypaz@gmail.com³; anihco@yahoo.com.ar⁴

RESUMEN

El presente trabajo describe el desarrollo de un prototipo, diseñado para optimizar los nutrientes de diversos menús escolares destinados a estudiantes del nivel secundario, de manera tal que alcancen una alimentación saludable. La optimización se centra en minimizar el contenido de grasas totales del menú seleccionado, teniendo presente no solo las cantidades de los nutrientes que deben ser consumidos mínimamente, sino también las cantidades máximas de los alimentos seleccionados para los menús. Dada la complejidad del caso de estudio, se utilizó como técnica de resolución, una variante del algoritmo de Colonia de Abejas Artificiales (ABC) la cual es lo suficientemente flexible, eficiente y robusta para ser aplicada a problemas de optimización.

Palabras Clave: Optimización, Metaheurísticas, Colonia de Abejas Artificiales, Programación Lineal, Restricciones.

CONTEXTO

El presente trabajo es un resumen de la investigación realizada para elaborar el trabajo final de carrera de grado. Utiliza un algoritmo de metaheurísticas, llamado Colonias de Abejas Artificiales (ABC), perteneciente a la inteligencia de enjambre, para la optimización de diversos nutrientes de un menú determinado. Los ajustes son proporcionados por la cátedra de Trabajo Final de Sistemas, de la carrera Licenciatura en Sistemas dictada en la Facultad de

Ingeniería de la Universidad Nacional de Jujuy.

1. INTRODUCCIÓN

Las personas en edad escolar necesitan alimentarse bien a fin de desarrollarse adecuadamente, evitar las enfermedades y tener energía para estudiar y estar físicamente activos. Las ventajas derivadas de un buen nivel de nutrición no solo se refieren a un adecuado crecimiento físico de las personas, sino que también implican, en los niños y adolescentes, un óptimo desarrollo del nivel madurativo, permitiéndoles que desplieguen las habilidades cognitivas necesarias para comprometerse en experiencias educativas y así poder alcanzar satisfactoriamente sus objetivos [1].

La optimización de menús se realizará considerando los datos de la Escuela Provincial Agrotécnica N° 14, de la Localidad de Cieneguillas del Departamento de Santa Catalina, Provincia de Jujuy.

El algoritmo de Colonia de Abejas Artificiales propuesto por primera vez en 2005 por Karaboga et al. [2], representa una de las tantas alternativas de inteligencia artificial para optimizar problemas del mundo real por medio de la programación lineal en los que el número de variables en juego puede ser tan amplio como se desee.

Si bien esta metaheurística se ha probado exitosamente en diferentes funciones benchmark [3] cada una de ellas representa un caso particular teórico que no garantiza una

eficiencia absoluta del algoritmo frente a un caso de estudio real [2].

1.1 Formulación matemática de los menús escolares

Para describir y formular el problema se utiliza un modelo matemático establecido en la programación lineal. Se busca por lo tanto determinar la cantidad de cada alimento a incluir en cada menú, asegurando los requerimientos nutricionales adecuados para una dieta saludable.

El objetivo principal de este modelo es minimizar el contenido de grasas totales para cada comida. Otro aspecto importante a destacar en la problemática de estudio son las restricciones a considerar. Se definen dos tipos de restricciones:

- *Restricciones de Nutrientes:* para asegurar que el desayuno/almuerzo proporcione la cantidad mínima de cada nutriente.
- *Restricciones de Alimentos:* para asegurar que no se incluya demasiada cantidad de un tipo de alimento.

Los menús tanto del desayuno como del almuerzo deben confeccionarse de manera tal que satisfaga los requerimientos nutricionales y se proporcionen las cantidades adecuadas de cada macronutriente (nutrientes necesarios que constituyen la parte principal de una dieta, de los cuales se encuentran los hidratos de carbono, las proteínas y las grasas). Se determinó un valor energético total de 2300 calorías por alumno/día, las cuales se distribuyen en porcentajes para cada macronutriente obteniendo un 60 % de hidratos de carbono, 15 % de proteínas y 25 % de grasas.

A su vez, se dividen para cada comida a lo largo del día de la siguiente manera: 345 cal. para el desayuno, 920 cal. para el almuerzo, 345 cal. para la merienda y 690 cal. para la cena.

Tanto el desayuno, el almuerzo, la merienda como la cena, la función a minimizar queda determinada por las cantidades (gramos) de grasa que aporta cada 100 gr. del ingrediente CRUDO seleccionado para un determinado menú.

Las restricciones nutricionales del desayuno/merienda mínimas a consumir son:

12,94 gr. de proteínas, 51,75 gr. de hidratos de carbono y 9,58 gr. de grasas. Para evitar una excesiva cantidad de un tipo de alimento, no debe incluirse más de 50 gr. de lácteos, 5 gr. de infusiones, 25 gr. de azúcares, 20 gr. de chocolates, 60 gr. de panificados y 45 gr. de agregados. A continuación en la **Figura 1** queda representado el modelo matemático.

$$\text{MIN } Z = 27,5 * LAC + 0,0 * INF + 0,0 * AZU + 2,3 * CHOC + 1,2 * PAN + 9,0 * DL + 99,5 * MAN + 0,3 * MER + 22,1 * QSO$$

Sujeto a:

Restricciones Nutricionales

$$26,4 * LAC + 0,1 * INF + 0,0 * AZU + 4,1 * CHOC + 8,2 * PAN + 8,1 * DL + 0,25 * MAN + 0,9 * MER + 18,9 * QSO \geq 12,94 \text{ (Proteínas)}$$

$$38,2 * LAC + 0,4 * INF + 99,5 * AZU + 78,5 * CHOC + 50,1 * PAN + 61,9 * DL + 1,0 * MAN + 23,2 * MER + 0,0 * QSO \geq 51,75 \text{ (H.de C.)}$$

Restricciones de Límites

$$LAC \leq 50 \text{ grs.}$$

$$INF \leq 5 \text{ grs.}$$

$$AZU \leq 25 \text{ grs.}$$

$$CHOC \leq 20 \text{ grs.}$$

$$PAN \leq 60 \text{ grs.}$$

$$DL + MAN + MER + QSO \leq 45 \text{ grs.}$$

Restricciones de No negatividad

$$LAC, INF, AZU, CHOC, PAN, DL, MAN, MER, QSO \geq 0 \text{ grs.}$$

Figura 1. Modelo matemático Desayuno/Merienda. Se identifican las siguientes cantidades de ingredientes: LAC: gr de lácteos, INF: gr de infusiones (té, mate y café), AZU: gr de azúcares, CHOC: gr de chocolates, PAN: gr de panificados, DL: gr de dulce de leche, MAN: gr de manteca, MER: gr de mermelada y QSO: gr de queso.

Para el caso del Almuerzo/Cena las restricciones nutricionales deben contener 34,5 gr. de proteínas, 138 gr. de hidratos de carbono y 25,5 gr. de grasas. En el caso de la cena se debe proporcionar 25,87 gr. de proteínas, 103,5 gr. de hidratos de carbono y 19,16 gr. de grasas. Para evitar demasiada cantidad de un tipo de alimento, no debe incluirse más de 110 gr. de carnes, 280 gr. de vegetales tipo “A” y “B”, 180 gr. de vegetales tipo “C”, 130 gr. de frutas, 35 gr. de panificados, 80 gr. de cereales y legumbres, 30 gr. de azúcares, 20 gr. de lácteos, 70 gr. de queso y 15 gr. de aceite. El modelo matemático para este menú se observa en la **Figura 2**.

$$\begin{aligned} \text{MIN } Z = & 17,09 * \text{CNE} + 0,4 * \text{VEG_A} + 0,2 * \text{VEG_B} + 0,0 * \text{VEG_C} + \\ & 0,4 * \text{FRU} + 0,0 * \text{PAN} + 0,9 * \text{CER_LEG} + 0,0 * \text{AZU} + \\ & 27,5 * \text{LAC} + 22,1 * \text{QSO} + 99,8 * \text{ACEI} \end{aligned}$$

Sujeto a:

Restricciones Nutricionales

$$18,5 * \text{CNE} + 1 * \text{VEG_A} + 1,3 * \text{VEG_B} + 0,0 * \text{VEG_C} + 0,3 * \text{FRU} + 0,0 * \text{PAN} + 23,9 * \text{CER_LEG} + 0,0 * \text{AZU} + 26,4 * \text{LAC} + 18,9 * \text{QSO} + 0,0 * \text{ACEI} \geq 34,5 \text{ (Proteínas)}$$

$$0,0 * \text{CNE} + 3,5 * \text{VEG_A} + 5,8 * \text{VEG_B} + 0,0 * \text{VEG_C} + 12,4 * \text{FRU} + 0,0 * \text{PAN} + 56,5 * \text{CER_LEG} + 99,5 * \text{AZU} + 38,2 * \text{LAC} + 0,0 * \text{QSO} + 0,0 * \text{ACEI} \geq 138,0 \text{ (H.de C.)}$$

Restricciones de Límites

$$\begin{aligned} \text{CNE} & \leq 110 \text{ grs.} \\ \text{VEG_A_B} & \leq 280 \text{ grs.} \\ \text{VEG_C} & \leq 180 \text{ grs.} \\ \text{FRU} & \leq 130 \text{ grs.} \\ \text{PAN} & \leq 35 \text{ grs.} \\ \text{CER_LEG} & \leq 80 \text{ grs.} \\ \text{AZU} & \leq 30 \text{ grs.} \\ \text{LAC} & \leq 20 \text{ grs.} \\ \text{QSO} & \leq 70 \text{ grs.} \\ \text{ACEI} & \leq 15 \text{ grs.} \end{aligned}$$

Restricciones de No negatividad

$$\text{CNE, VEG_A, VEG_B, VEG_C, FRU, PAN, CER_LEG, AZU, LAC, QSO, ACEI} \geq 0 \text{ grs.}$$

Figura 2. Modelo matemático Almuerzo/Cena. Se identifican las siguientes variables de decisión: CNE: gr de carnes, VEG_A: gr de vegetales tipo A, VEG_B: gr de vegetales tipo B, VEG_C: gr de vegetales tipo C, FRU: gr de frutas, PAN: gr de panificados, CER_LEG: gr de cereales y/o legumbres, AZU: gr de azúcares, LAC: gr de lácteos, QSO: gr de queso y ACEI: gr de aceite.

2. METAHEURÍSTICA COLONIA DE ABEJAS ARTIFICIALES

El algoritmo de colonia de abejas artificiales se inspiró en el comportamiento inteligente de forrajeo de las abejas, y es utilizado exitosamente para resolver diferentes problemas de optimización.

ABC es un algoritmo de optimización en el que las soluciones del problema se denominan fuentes de alimentos, las que son modificadas por las abejas artificiales con el objeto de encontrar aquellas con mayor cantidad de néctar. En el algoritmo existen abejas empleadas y observadoras, que se mueven en el espacio en busca de fuentes de alimentos, teniendo en cuenta su experiencia y de la de sus compañeros de colmena para reposicionarse. Mientras que las llamadas abejas exploradoras vuelan y eligen aleatoriamente las fuentes sin considerar su experiencia, y si la localización de la fuente es mayor, memorizan la posición y olvidan la anterior. De esta manera, ABC combina métodos de búsqueda local, mediante las abejas empleadas y observadoras, con métodos de búsqueda global mediante las abejas exploradoras, intentando equilibrar el

proceso de la exploración y de la explotación del espacio de búsqueda [4].

El algoritmo ABC se ha propuesto originalmente para problemas de optimización sin restricciones [5]. Sin embargo para poder implementar esta técnica como método de resolución, fue necesario diseñar una versión del algoritmo que tenga incorporado un mecanismo para el control de las restricciones en el algoritmo base, ya que el caso de estudio cuenta con ciertos tipos de limitaciones observadas en las **Figuras 1 y 2**.

2.1 Mecanismo para el control de las restricciones.

Este proceso para el manejo de restricciones fue incorporado en varias técnicas de optimización como PSO, ACO, ABC, entre otros [6]. El proceso más utilizado debido a su sencillez del método fue el propuesto por Deb [7]. Este trabajo se utiliza el método de Deb con algunas modificaciones propuesto en [8], la cual se optó también por utilizar este proyecto ya que la problemática son muy similares. Este método considera las siguientes reglas:

- 1) una solución factible siempre es preferible a una solución no factible
- 2) entre dos soluciones factibles, es preferible aquella con mayor valor (o menor valor según sea el caso) en su función objetivo
- 3) entre dos soluciones no factibles, es preferible aquella que viole el menor número de restricciones (número de violaciones de restricciones o NVR)
- 4) en el caso que ambas violen el mismo número de restricciones, se elige aquella con menor valor en la suma de porcentaje de violaciones (suma de violaciones de restricciones o SVR) con respecto a los recursos disponibles [9].

3. LINEAS DE INVESTIGACION Y DESARROLLO

En el trabajo, respecto a la planificación de menús escolares, se deja abierta la posibilidad de considerar la incorporación del aporte nutricional de los micronutrientes y el factor de corrección de alimentos cocidos para el cálculo de las cantidades de los

macronutrientes. Por otra parte, es de gran interés considerar el costo de los alimentos, que permitan respetar el presupuesto asignado a cada menú.

En cuanto al algoritmo, una de las extensiones futuras se centra en disminuir el costo computacional para problemas con varias restricciones de diversas naturalezas, como sería este caso.

4. RESULTADOS OBTENDIDOS/ESPERADOS

Se toma como base un ejemplo de menú diario lo detallado en la **Tabla 1** para las pruebas experimentales.

Tabla 1. Menús

comida	Nombre
Desayuno	Leche con Chocolate y Pan
Almuerzo	Guiso de Lenteja y Compota de pera

4.1 Parámetros del algoritmo

Los parámetros especificados en la **Tabla 2**, son los que intervienen en la ejecución del algoritmo ABC para el caso de estudio. Es importante destacar que los valores asignados a los parámetros expuestos fueron elegidos experimentalmente.

Tabla 2. Parámetros del algoritmo ABC

NOMBRE	SÍMBOLO	VALOR
tamaño de la colonia	tam_colonia	30
Número de soluciones (fuentes de alimento)	Num_fuentes	15
Número máximo de iteraciones	max_iteraciones	150
Límite máximo	limite_max	tam_colonia*5%
Rango de modificación	MR	0.8
Periodo de producción explorador	SPP	$0.1 * \text{tam_colonia} * \text{Dim}$
Factor de tolerancia dinámico	E	Se inicializa en 0.1 y varía en el rango [0.01, 0.001, 0.0001, 0].

4.2 Resultados del menú del Desayuno

Para el caso del “Desayuno” se observa que el algoritmo propuesto alcanza una solución aproximada a la solución óptima (9,58 gr de grasa) presentando un error de 0,03 siendo altamente aceptable. Se observa en la **Figura 3** las cantidades de cada alimento, señalado en la **Tabla 1**, que se deben incluir en el desayuno, para que los macronutrientes aportados sean los adecuados. Se aproxima satisfactoriamente a los valores recomendados de la información calórica en **Figura 4** y con una distribución

del 61% de Hidratos de carbono, 14% de proteínas y 24% de grasas representados en la **Figura 5**.

Resultados de la Optimización

(valor óptimo) Z = 9.61125 (grs. en Grasas)

Variable	Alimento	Cantidad (grs.)
X1	Leche en polvo	31.9322
X2	Chocolate	10
X3	Azúcar	9.7586
X4	Pan	50

Figura 3. Resultados del algoritmo ABC para el desayuno. Cantidades en gr de cada ingrediente a utilizar en el menú.

Información calórica

Calorías totales = 357.494 (cal.)

Hidratos de Carbono = 219.232 (cal.)

Proteínas = 51.7604 (cal.)

Grasas = 86.5021 (cal.)

Figura 4. Resultados de la información calórica del algoritmo ABC para el desayuno, para el cual se consideraba un aportecalórico de aprox. 345 cal.

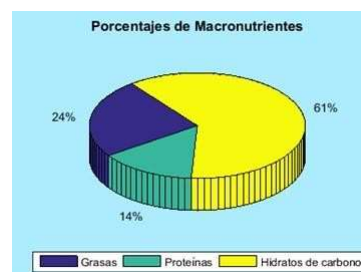


Figura 5. Resultados de la distribución de macronutrientes para el desayuno.

4.3 Resultados del menú del Almuerzo

Para el caso del “Almuerzo” el algoritmo se aproxima a la solución óptima (25,5 gr de grasa) con una diferencia de 1,05 gr., que al igual que en el desayuno no influye significativamente en los nutrientes del menú. En la **Figura 6** calcula las cantidades de cada alimento seleccionada en la **Tabla 3** para el almuerzo. La información calórica alcanzada se observa en **Figura 7**, con una distribución del 60% de Hidratos de carbono, 15% de proteínas y 25% de grasas visualizadas en **Figura 8**.

Resultados de la Optimización

(valor optimo) Z = 25.2102 (grs. en Grasas)

Variable	Alimento	Cantidad (grs.)
X1	Acete	10
X2	Arroz	59.9966
X3	Carne vacuna	80
X4	Cebolla	30
X5	Lenteja	56.5654
X6	Tomate	40.0266
X7	Azúcar	29.9515
X8	Pera	130
X9	Pan	20.0009

Figura 6. Resultados del algoritmo ABC para el Almuerzo. Cantidades en gr de cada ingrediente a utilizar en el menú.

Información calórica

Calorías totales =	921.05	(cal.)
Hidratos de Carbono =	552.012	(cal.)
Proteínas =	142.145	(cal.)
Grasas =	226.893	(cal.)

Figura 7. Resultados de la información calórica del algoritmo ABC para el Almuerzo, para el cual se consideraba un aportecalórico de aprox. 920 cal.

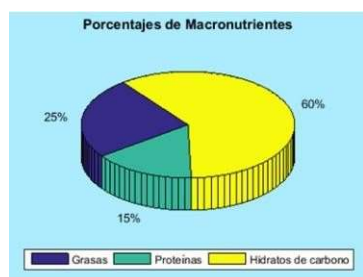


Figura 8. Resultados de la distribución de macronutrientes para el Almuerzo

5. FORMACION DE RECURSOS HUMANOS

El desarrollo forma parte de un conjunto de trabajos finales de características similares. En este caso se encuentra conformado por: 2 estudiantes de Licenciatura en Sistemas y 2 Licenciadas en Sistemas.

Dirección de tesis

Tesis de Grado. Título: “Sistema de optimización aplicado a la elaboración de productos alimenticios mediante la técnica de enjambres de partículas (PSO)”. *Tesista:* Fabiola Patricia Paz. Carrera de Licenciatura en Sistemas, Facultad de Ingeniería – UNJu.

Tutores: M.A. Azar y A. Herrera Cогnetta. Finalizada 2014.

Tesis de Grado. Título: “Prototipo de una app para optimizar el recorrido de la recolección de residuos mediante la metaheurística colonias de hormigas (ACO)”. *Tesista:* Franco Gastón Figueroa. Carrera de Licenciatura en Sistemas, Facultad de Ingeniería – UNJu. *Tutores:* F.P. Paz, A. Herrera Cогnetta y M. A. Azar. En curso desde 2016.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Espínola V. y Brünner M., «Alimentación saludable en la escuela. Hacia una adecuada alimentación de los niños en edad escolar,» Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, 2014.
- [2] Karaboga, D. An idea based on honey bee swarm for numerical optimization (Vol. 200). Technical report-tr06, Erciyes university, engineering faculty, computer engineering department, 2005.
- [3] Liang, J. J., Runarsson, T. P., Mezura-Montes, E., Clerc, M., Suganthan, P. N., Coello, C. C., & Deb, K. (2006). Problem definitions and evaluation criteria for the CEC 2006 special session on constrained real-parameter optimization. *Journal of Applied Mechanics*, 2006.
- [4] Karaboga D., Akay N., A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm, *Applied Mathematics and Computation*, no 214, pp. 108-132, 2009.
- [5] Justo A., «Un algoritmo basado en la colonia artificial de abejas con búsqueda local para resolver problemas de optimización con restricciones,» Veracruz, México, 2014.
- [6] Araoz M., «Uso de tolerancias dinámicas para el Manejo de Restricciones en problemas de optimización usando la Colonia Artificial de Abejas,» Veracruz, México, 2013.
- [7] Deb K., «An efficient constraint handling method for genetic algorithms,» *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 186, pp. 311-338, 2000.
- [8] Paz F., Azar M., Herrera Cогnetta A., Optimización por enjambre de partículas con restricciones aplicada a la elaboración de productos alimenticios, Segundo Congreso Argentino de Ingeniería – CADI 2014, Tucumán, Argentina, ISBN 978-987-1662-51-7, Septiembre 2014.
- [9] Paz F., Azar M., Herrera Cогnetta A., Pérez Otero N., Una alternativa para el mecanismo de manejo de restricciones en algoritmos PSO, Segundo Congreso Argentino IPCTIIC 2013, Córdoba, Argentina, ISBN 978.88.96.471.25.8, Noviembre 21-22, 2013.